Žurnāls *Būvinženieris* sadarbībā ar kompāniju *Mikrokods* publicē rakstu sēriju par datormodelēšanas iespējām projektēšanā – programmas *Plaxis 3D* izmantošanu. Šī ir otrā – noslēdzošā – publikācija. Pirmo rakstu lasiet žurnāla iepriekšējā izdevumā Nr. 75 2020. gada augustā.

Praktiski modelēšanas piemēri

Kārlis Kukemilks, Dr. rer. nat., SIA *Inženieru birojs Būve un forma* konstrukciju būvinženieris

Attēli no autora albuma

Tā kā daudzviet Latvijā, arī Rīgas apkaimē, ir gruntis ar zemu nestspēju, berzes pāļi bieži tiek izmantoti būvju pamatnēs.

Būvniecības normatīvos reglamentēti pāļu pamatu nestspējas un deformāciju aprēķini. *Eirokodekss 7 Ģeotehniskā projektēšana* reglamentē pieļaujamās deformācijas pāļu pamatiem, tai skaitā leņķisko deformāciju, atsevišķiem režģogiem nevienmērīgi sēžoties.

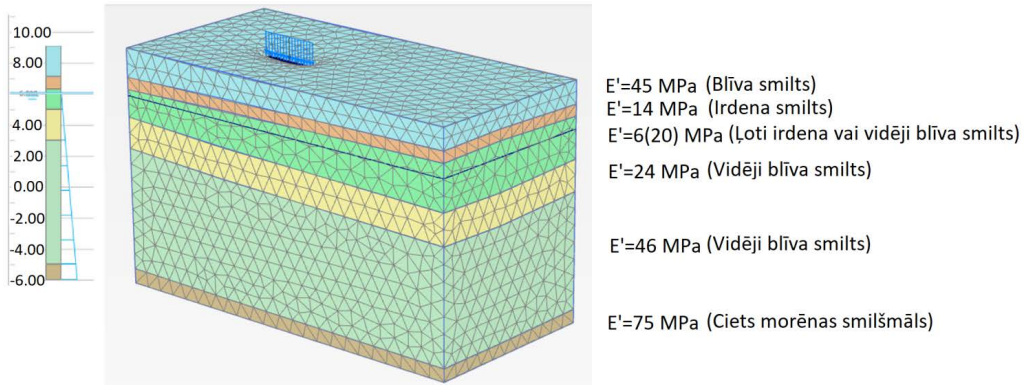
Nozīmīga daļa

Pāļu pamatu deformāciju aprēķins ir nozīmīga būves tehniskā projekta sastāvdaļa. Pāļu pamatu deformāciju aprēķini notiek saskaņā ar Latvijas būvnormatīvu LBN 207-15 *Ģeotehniskā projektēšana*. Aprēķins rit pēc lineāri deformējamās pustelpas modeļa un parasti tiek izpildīts programmā *MS Excel*.

Modelēta berzes pāļu režģogu vertikālā deformācija, salīdzinot *Plaxis* 3D modelēšanas rezultātu ar *Excel* aprēķinu pēc LBN. *Plaxis 3D* aprēķinā pāļu virsmas berzes noteikšanai izvēlēta *Layer dependent* metode, kas nosaka pāļa virsmas berzi atkarībā no grunts slāņu raksturlielumiem: saistes (c), iekšējā berzes leņķa (φ) un redukcijas faktora R_{inter}.

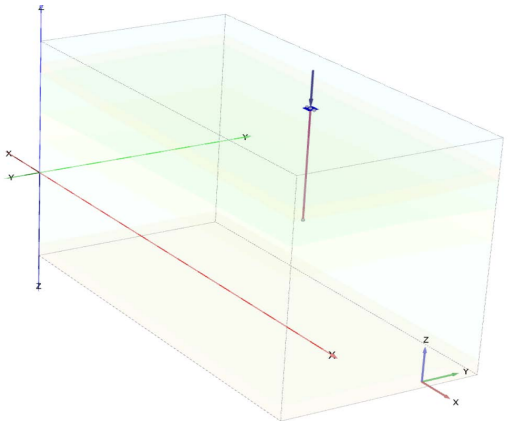
Modelēšanai izvēlēts Rīgas apkaimei tipisks ģeoloģiskais modelis ar irdenu vai blīvu smilšaino slāņu miju, ko aptuveni 12 m dziļumā pārtrauc ciets morēnas smilšmāls. Viens no smilšainajiem starpslāņiem pieņemts kā ļoti irdens – elastības modulis =6 MPa, kas klasificējams kā vājais slānis.

Apskatīti daži raksturīgie pāļu izvietojumi režģogos, aprēķinot to deformāciju vērtības pēc LBN ar *Excel* un *Plaxis 3D*. Modelī pieņemti dzelzsbetona urbpāļi ar diametru 42 cm. Katram režģogam apskatīti divi modelēšanas scenāriji: a) ar vājo slāni: ļoti irdena smilts jeb E=6 MPa; b) bez vājā slāņa: ļoti irdenās smilts vietā pieņemot vidēji blīvu slāni ar E=20 MPa.

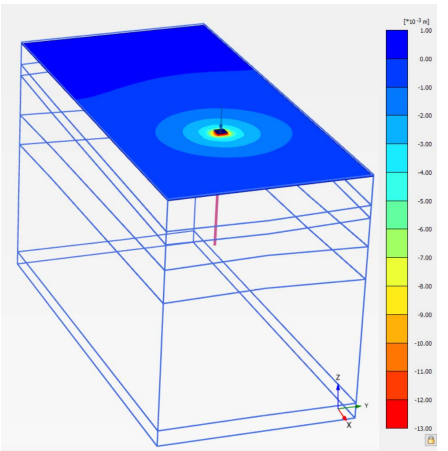


1. attēls. Modelēšanas ģeoloģiskais modelis.

1. modelis: viens pālis zem lentveida režģoga ar pieliktu koncentrētu slodzi 500 kN, skat. 2. attēlu.

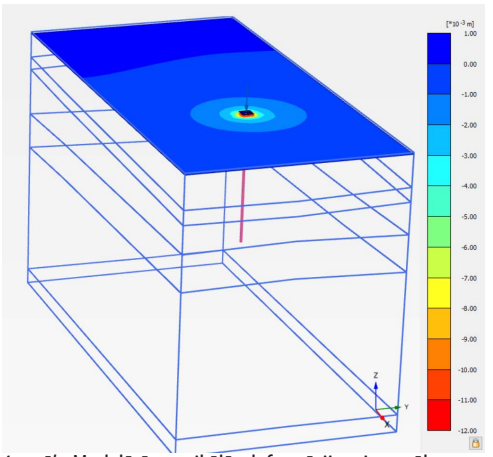


2. attēls. Viena pāļa slogojuma shēma.



3. attēls. Modelētās vertikālās deformācijas viena pāļa režģogam ar vājo slāni.

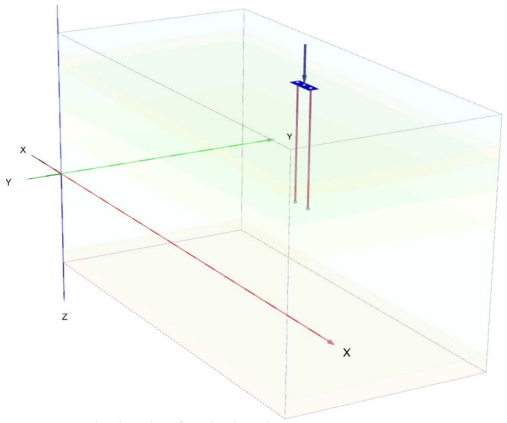
a) **Ar vājo slāni:** maksimālā modelētā deformācija ar *Plaxis 3D* ir 1,3 cm. Maksimālā deformācija pēc LBN – 1 cm.



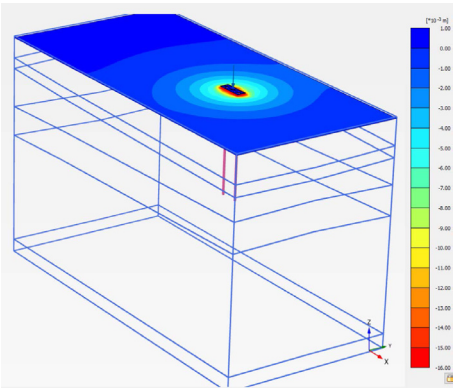
4. attēls. Modelētās vertikālās deformācijas viena pāļa režģogam bez vājā slāņa.

b) **Bez vājā slāņa:** maksimālā modelētā deformācija ir 1,1 cm. Maksimālā deformācija pēc LBN – 0,4 cm.

2. modelis: 2 pāļu režģogs, pielikta koncentrēta slodze 1000 kN, skat. 5. attēlu.

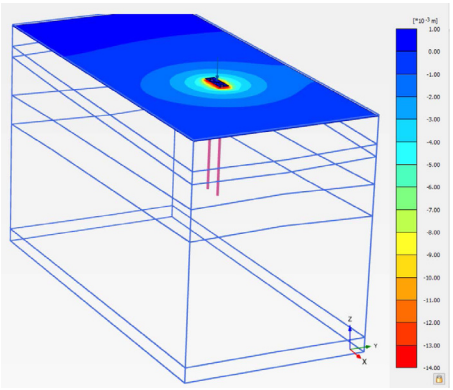


5. attēls. Divu pāļu režģoga slogojuma shēma.



6. attēls. Modelētās vertikālās deformācijas divu pāļu režģogam ar vājo slāni.

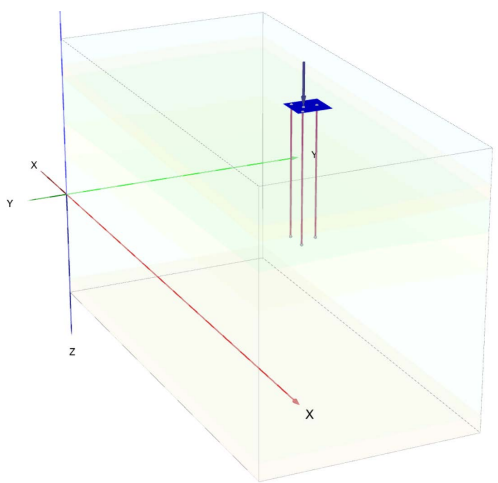
a) **Ar vājo slāni:** maksimālā modelētā deformācija ir 1,6 cm.
Maksimālā deformācija pēc LBN – 3 cm.



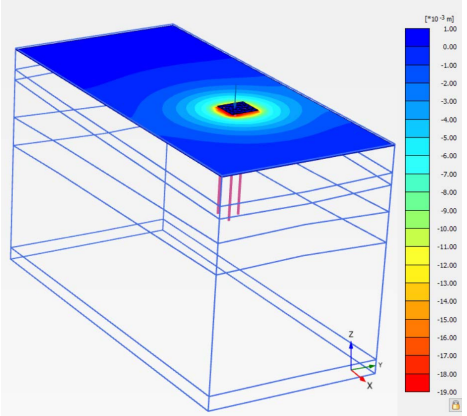
7. attēls. Modelētās vertikālās deformācijas divu pāļu režģogam bez vājā slāņa.

b) **Bez vājā slāņa:** maksimālā modelētā deformācija ir 1,3 cm.
Maksimālā deformācija pēc LBN –1 cm.

3. modelis: 3 pāļu režģogs, koncentrēta slodze 1500 kN, skat. 8. attēlu.

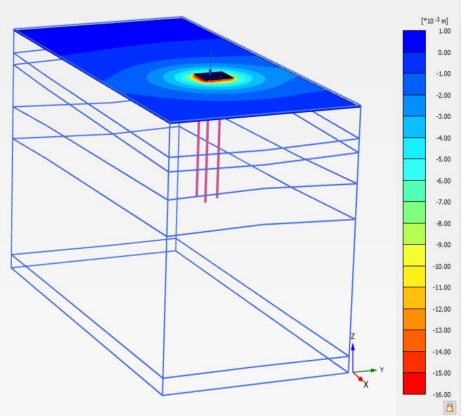


8. attēls. Trīs pāļu režģoga slogojuma shēma.



9. attēls. Modelētās vertikālās deformācijas trīs pāļu režģogam ar vājo slāni.

a) Ar vājo slāni: modelētā vertikālā deformācija ir 1,9 cm, aprēķinātā vertikālā deformācija pēc LBN – 1,7 cm.

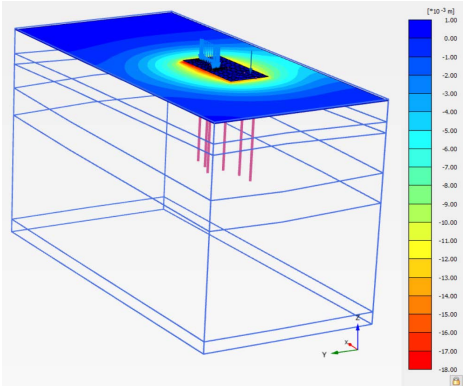


10. attēls. Modelētās vertikālās deformācijas trīs pāļu režģogam bez vājā slāņa.

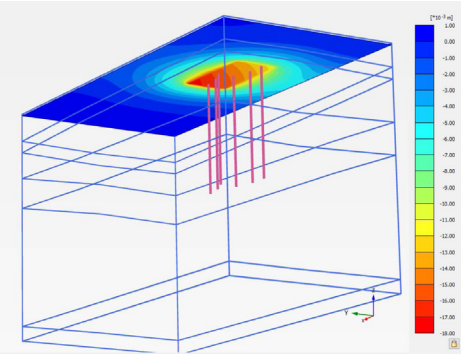
b) Bez vājā slāņa: modelētā vertikālā deformācija ir 1,5 cm, aprēķinātā vertikālā deformācija pēc LBN – 0,9 cm.

Izstrādāts arī *Plaxis 3D* modelis ar režģogu, kas savieno vairākas pāļu grupas ar dažādām pieliktajām slodzēm, kura aprēķins ar analītisko modeli programmā *MS Excel* būtu grūti izpildāms. Šāds modelis ir tuvs monolītai pamatu plātnei, zem kuras novietoti pāļi. Modelis rāda nevienmērīgu režģoga deformāciju, ko varētu novērst, mainot pāļu izvietojumu, skat. 11. un 12. attēlu.

4. modelis: pāļu grupas sēšanās pārbaude ar monolīto plātni, kopējā koncentrētā un izkliedētā slodze – 2000 kN.

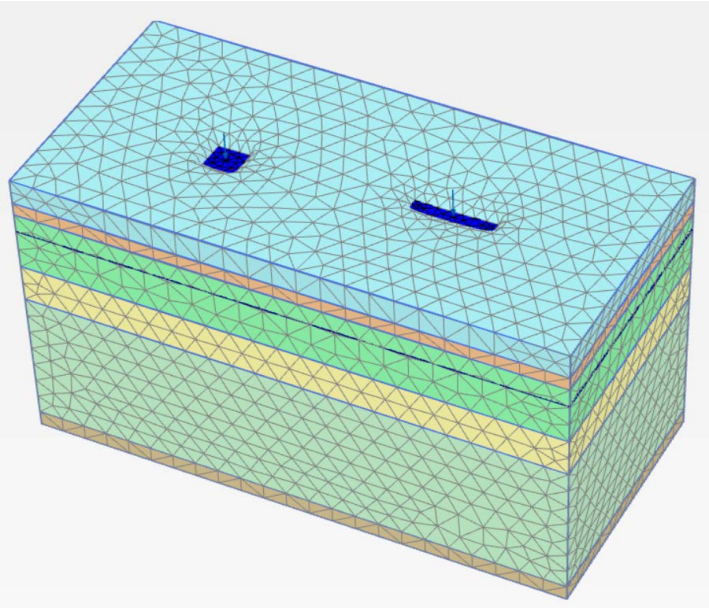


11. attēls. Modelētās vertikālās deformācijas režģogam ar pieliktu koncentrētu un vienmērīgi izkliedētu slodzi.

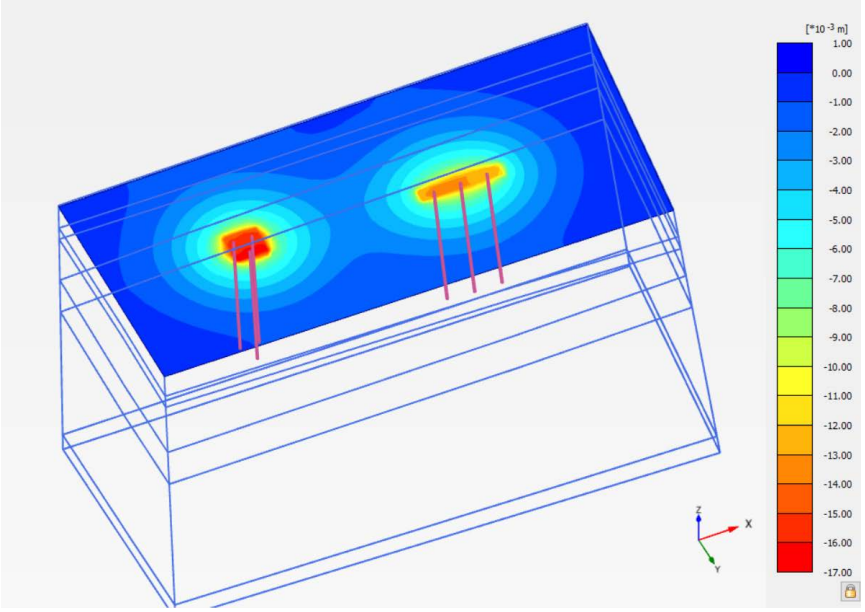


12. attēls. Modelētās vertikālās deformācijas režģogam ar pieliktu koncentrētu un vienmērīgi izkliedētu slodzi skatā no apakšas.

Maksimālā modelētā deformācija – 1,8 cm.



13. attēls. Slogojuma shēma diviem vienādas nestspējas režģogiem ar vienādu pāļu skaitu un režģoga laukumu, bet atšķirīgu režģoga formu.



14. attēls. Modelētās deformācijas skatā no apakšas diviem vienādas nestspējas režģogiem ar vienādu pāļu skaitu un režģoga laukumu, bet atšķirīgu režģoga formu.

Formas koeficients aprēķinā pēc LBN rada lielas atšķirības dažādas formas režģogu deformācijas vērtībās, savukārt *Plaxis* aprēķins ievērojamas atšķirības deformācijās neparedz.

Piemēri rāda, ka aprēķins pēc LBN 207-15 *Ģeotehniskā projektēšana* ņem vērā nosacītās pamata pēdas formas koeficientu α, ko varētu vienkāršoti uzlūkot kā režģoga formas koeficientu, tāpēc gariem un šauriem režģogiem ir augstāka deformācija nekā kvadrātiskas formas režģogiem.

Izveidots *Plaxis 3D* modelis divu režģogu salīdzināšanai ar vienādu laukumu, bet atšķirīgu formu, skat. 14. attēls. Modelī pieņemts vājais slānis un koncentrēta slodze 1300 kN. Pēc LBN šajā ģeoloģiskajā modelī ar vājo slāni kvadrātiskajam režģogam paredzēta 1,6 cm deformācija, bet taisnstūrveida – 5,2 cm. Savukārt pēc *Plaxis* aprēķina ir tieši pretēji: kvadrātiskajam režģogam ir augstāka deformācija nekā taisnstūra – ap 1,7 cm.

Režģoga deformācija, cm		Pāļu skaits režģogā		
		1	2	3
Ar vājo slāni	LBN	1	3	1,7
	Plaxis 3D	1,3	1,6	1,9
Bez vājā slāņa	LBN	0,4	1	0,9
	Plaxis 3D	1,1	1,3	1,5

1. tabula. Pāļu režģogu deformācijas noteiktas ar programmu Plaxis 3D un pēc LBN 207-15.

Modelēšanas rezultāti un diskusija

Salīdzinot *Plaxis 3D* modelētās režģogu deformācijas un analītiskā modeļa rezultātus pēc LBN, var secināt, ka abu modeļu paredzētā deformācija ievērojami atšķiras, turklāt neviena no metodēm nedod konsekventi augstākas vai zemākas deformāciju vērtības, tas atkarīgs no ģeoloģijas un režģoga formas, skat. 1. tabulu. Vērojama tendence, ka scenārijam bez vājā slāņa LBN dod zemākas deformācijas vērtības, skat. 1. tabulu.

Visaugstākās deformācijas vērtības dod aprēķins pēc LBN šauriem režģogiem ar vājo slāni, savukārt abi modeļi sniedz diezgan tuvas vērtības kvadrātiskas formas režģogiem. *Plaxis 3D* pie vienādas slodzes un režģoga laukuma paredz lielāku deformāciju kvadrātiskiem režģogiem, savukārt aprēķins pēc LBN – šauriem taisnstūra formas režģogiem.

Meklējot atšķirību iemeslus, jāņem vērā, ka iegūtie rezultāti ir raksturīgi specifiskai modeļa ģeoloģijai. Citai modeļa ģeoloģijai arī deformācija varētu būt pavisam citāda. Nav salīdzinātas arī deformācijas ar atšķirīgām slodzes vērtībām.

Plaxis 3D modelis apskata gan pāļu, gan režģoga kopīgu darbību, savukārt aprēķins pēc LBN – tikai pāļus.

Abu modeļu lietotās deformāciju aprēķina matemātiskās metodes atšķiras. Aprēķinā pēc LBN vājo slāni vērtē, ierobežojot nosacītās pamata pēdas veidošanos līdz ar vājā slāņa

MikroKods® Realitātes 3D modelēšanas pakalpojumi

Moderna būvju un apvidus uzmērīšana: izmantojot 3D modelēšanu nodrošinām klientus ar plašāku informāciju par objektu, nekā izmantojot tradicionālās uzmērīšanas metodes.

Realitātes 3D modeļu izmantošana projektēšanā un būvniecībā:
- Datu avots projektēšanai un būvniecības ieceres nodošanai publiskai apspriešanai
- Ēku un to inženierkomunikāciju tehniskā stāvokļa noteikšanai
- Būvuzraudzībai – vizuālais un analītiskais monitorings
- Platību un apjomu mērīšanai

www.mikrokods.lv Brīvības gatve 224B, Rīga, LV-1039 Tālrunis 67840256 mikrokods@miko.lv
modeļi apskatāmi: http://demo.mikrokods.lv